

Proposition de sujet de thèse

Méthodes d'optimisation dynamique pour l'ordonnancement d'atelier

UMR de rattachement	LIMOS, UMR CNRS 6158, Mines Saint-Etienne
Directeur de thèse	Frédéric Grimaud
Co-encadrant	Damien Lamy, Arthur Kramer
Ecole doctorale	EDSIS 488
Financement de la thèse	Bourse école
Mots clés	Ordonnancement ; Optimisation Dynamique ; Simulation à Evènement Discret ; Jumeaux Numériques ; Systèmes de Production Durables ; Efficience Energétique
Date de début	Septembre 2025

Contexte

Les industriels peuvent être soumis à un ensemble de contraintes territoriales, notamment en ce qui concerne l'accès à certaines ressources partagées (e.g. énergie/électricité). En plus des consommateurs industriels, l'écosystème énergétique englobe un ensemble d'autres acteurs parmi lesquels : les fournisseurs d'énergie avec leurs spécificités, les distributeurs avec leur réseau, les institutions avec leurs incitations/législations, et d'autres acteurs (particuliers, métropole, etc.). Cet écosystème peut avoir une incidence sur le pilotage opérationnel des systèmes de production, notamment dans le cas d'ateliers flexibles et/ou reconfigurables. Les industriels doivent donc être en capacité de réagir de manière réactive et d'ordonner leur production compte tenu des incertitudes et aléas sur les ressources énergétiques alimentant leurs systèmes, dans le respect des offres souscrites.

Par ailleurs, avec les technologies de l'industrie 4.0, la transmission de données entre acteurs de l'écosystème permet de gagner en visibilité sur le pilotage des systèmes. Au travers de jumeaux numériques de l'outil de production (ligne, atelier, etc.), éventuellement interfacés avec d'autres jumeaux numériques sur le territoire, les industriels peuvent désormais piloter leurs activités en bénéficiant d'informations supplémentaires sur l'état du réseau.

Fort de ces informations, il est alors envisageable de proposer une approche d'optimisation dynamique afin de produire des ordonnancements de meilleure qualité et pouvant évoluer avec les contraintes auxquelles sont soumis les systèmes de production, notamment environnementales (demande d'effacement, émissions Co2, etc.). Ces ordonnancements peuvent également bénéficier de modèles de simulation de flux, permettant d'évaluer la performance des solutions proposées selon différents scénarios.

Descriptif de la thèse

Ce sujet propose de s'intéresser à l'utilisation des méthodes d'optimisation dynamique pour des problèmes d'ordonnancement d'atelier dans un contexte de jumeaux numérique. En effet, les méthodes actuellement implémentées dans les modules d'ordonnancement de type APS (Advanced planning and scheduling) permettent la définition de solutions dans un contexte prédictif et statique. Cependant, les systèmes de production sont dynamiques et les solutions proposées à un instant donné, quand bien même de bonne qualité, sont tributaires de l'environnement dans lequel elles sont mises en œuvre, notamment de par l'évolution du marché et du comportement des clients ainsi que de par la présence d'événements aléatoires que cela soit des indisponibilités sur une ressource (énergétique), de nouveaux ordres de fabrication à écouler, etc. Ceci nécessite de la part des industriels d'être en capacité de réagir rapidement aux différentes demandes [1]. L'ordonnancement en cours d'exécution lorsque ces événements interviennent peut rapidement ne plus correspondre aux nouvelles contraintes du système. Différentes approches ont été proposées sur ce type de problème [2, 3]. Elles concernent généralement soit la mise en place de règles de gestion qui visent à maintenir l'ordonnancement le plus stable possible ou la mise en place de méthodes réactives qui consistent à proposer un nouvel ordonnancement après application d'un algorithme exact ou approché (heuristiques, metaheuristiques). Cependant, les articles publiés à ce jour n'ont que peu traité la réactivité des systèmes de production dans un contexte d'efficience énergétique. Par ailleurs, peu de travaux font mention d'optimisation dynamique pour l'ordonnancement [4]. Ces approches consistent généralement à appliquer, en parallèle de la solution en cours d'exécution, une méthode d'optimisation en continue afin de bénéficier du temps pendant lequel aucun événement ne survient. Ainsi, lorsqu'une nouvelle solution doit être envisagée, l'outil d'optimisation est à même d'en

proposer une instantanément, ou à défaut, plus rapidement que s'il fallait appliquer la méthode d'optimisation à la demande. La performance des solutions envisagées peut également être évaluée au travers d'un jumeau numérique des flux, permettant de minimiser le phénomène de myopie des approches d'optimisation.

Plusieurs difficultés supplémentaires sont à considérer, notamment :

- Comment prendre en compte la composante énergétique dans les jumeaux numériques de flux, et y modéliser l'ensemble des offres énergétiques ? Cette question fait suite à des travaux en cours sur les jumeaux numériques.
- Comment proposer des outils de pilotage réactif des systèmes de production avec une approche multicritères permettant d'optimiser la consommation (kWh, Co2), la production (taux de service, lead time, OTIF), le prix (revient), ... Ces outils seront également conçus pour prendre en compte un niveau de visibilité sur les données de l'écosystème.
- Quelles méthodologies de modélisation et d'optimisation investiguer permettant une mise à jour des solutions sans provoquer de modifications majeures dans un souci de stabilité du système.
- Comment permettre une articulation de ce niveau décisionnel avec un niveau plus macroscopique au niveau du territoire : il s'agit notamment d'évaluer la performance de nouvelles typologies d'offres dans lesquelles les industriels sont parties prenantes. Ce sujet est en lien avec les travaux d'une autre équipe de recherche.

Résultats attendus

Des méthodes d'optimisation seront étudiées pour le problème ainsi que des couplages optimisation/simulation dans un contexte de jumeaux numériques. Les approches proposées seront évaluées expérimentalement, et pourront être validées au travers d'une preuve de concept sur une plateforme de l'école (IT^m Factory, Maq^{It}).

Les travaux seront valorisés par la publication d'articles scientifiques en journaux et en conférences.

Profil du candidat

Ingénieur et/ou Master de recherche français ou européen avec une coloration Génie Industriel ou Recherche Opérationnelle.

La personne recrutée devra disposer des compétences suivantes :

- Modélisation de problèmes (programmation linéaire, etc.) ;
- Méthodes d'optimisation exactes ou approchées (heuristiques, métaheuristiques) ;
- Simulation à événements discrets (Arena, Anylogic, etc.) ;
- Des compétences en programmation (C++, Java, etc.).

Des connaissances complémentaires dans l'un des domaines suivants seraient appréciées :

- Analyse de données ;

Le/la candidat.e devra être motivé par l'aspect applicatif et le développement informatique.

Candidature

Le dossier de candidature devra comporter :

- Un CV ;
- Une lettre de motivation ;
- Relevés de notes des deux dernières années de formation ;
- Lettres de recommandation.

Le dossier est à envoyer par courrier électronique à : damien.lamy@emse.fr

Bibliographie

1. Rossit D, Tohmé F (2018) Scheduling research contributions to Smart manufacturing. *Manufacturing Letters* 15:111–114. <https://doi.org/10.1016/j.mfglet.2017.12.005>
2. Ouelhadj D, Petrovic S (2009) A survey of dynamic scheduling in manufacturing systems. *Journal of Scheduling* 12:417–431. <https://doi.org/10.1007/s10951-008-0090-8>
3. Mohan J, Lanka K, Rao AN (2019) A Review of Dynamic Job Shop Scheduling Techniques. *Procedia Manufacturing* 30:34–39. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2019.02.006>
4. Ning T, Huang M, Liang X, Jin H (2016) A novel dynamic scheduling strategy for solving flexible job-shop problems. *Journal of Ambient Intelligence and Humanized Computing* 7:721–729. <https://doi.org/10.1007/s12652-016-0370-7>